

DERWENT-ACC-NO: 1999-484715

DERWENT-WEEK: 200343

COPYRIGHT 2006 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Manufacture of crystalline thin film for opto-electronic use - involves irradiating coherent radiation from a two-dimensional interference image whose crystal plane symmetry is same as that of specific crystal which is formed on a substrate

PATENT-ASSIGNEE: GH RITSUMEIKAN[RITSN]

PRIORITY-DATA: 1998JP-0006569 (January 16, 1998)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES MAIN-IPC		
JP 3421672 B2	June 30, 2003	N/A
007 H01L 021/205		
JP 11204440 A	July 30, 1999	N/A
007 H01L 021/205		

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
JP 3421672B2	N/A	1998JP-0006569
January 16, 1998		
JP 3421672B2	Previous Publ.	JP 11204440
N/A		
JP 11204440A	N/A	1998JP-0006569
January 16, 1998		

INT-CL (IPC): C30B029/06, C30B029/38 , H01L021/205

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 11204440A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - A coherent laser light or electron beam from a two-dimensional interference image is irradiated on an amorphous substrate (7) with the

simultaneous irradiation of the raw material atoms of a crystal on the substrate. The interference image bears the same crystal plane symmetry as that of the crystal growth surface and a crystalline thin film of specific crystal structure is formed.

USE - For forming thin films of semiconductor crystals amorphous insulators used in opto-electronic devices, opto-electronic fusion circuits, opto-electronic integrated circuits and three-dimensional integrated circuits.

ADVANTAGE - Control of crystal structure in desired symmetry such as hexagonal or tetragonal is enabled. A crystal can be grown without polymorphism. The crystalline thin film has the crystal structure of the substrate.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the explanatory drawing of the growth of the GaN hexagonal crystal on a substrate hexagonal using a two-dimensional interference image having the same periodic structure corresponding to the hexagonal structure of the GaN crystal. (7) Substrate.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.5/12

TITLE-TERMS: MANUFACTURE CRYSTAL THIN FILM OPTO ELECTRONIC IRRADIATE COHERE
RADIATE TWO=DIMENSIONAL INTERFERENCE IMAGE CRYSTAL PLANE
SYMMETRICAL SPECIFIC CRYSTAL FORMING SUBSTRATE

DERWENT-CLASS: L03 U11

CPI-CODES: L03-G02; L04-C01B;

EPI-CODES: U11-C01J2; U11-C03J1;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1999-142509

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1999-361744

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-204440

(43)公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51)Int.Cl.⁹

識別記号

F I

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

C 3 0 B 29/06

5 0 4

C 3 0 B 29/06

5 0 4 C

29/38

29/38

D

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平10-6569

(22)出願日

平成10年(1998) 1月16日

(71)出願人 593006630

学校法人立命館

京都府京都市北区等持院北町56番地の1

(72)発明者 名西 ▲やす▼之

滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大

学 びわこ ・くさつキャンパス 理工学

部内

(72)発明者 今井 茂

滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大

学 びわこ ・くさつキャンパス 理工学

部内

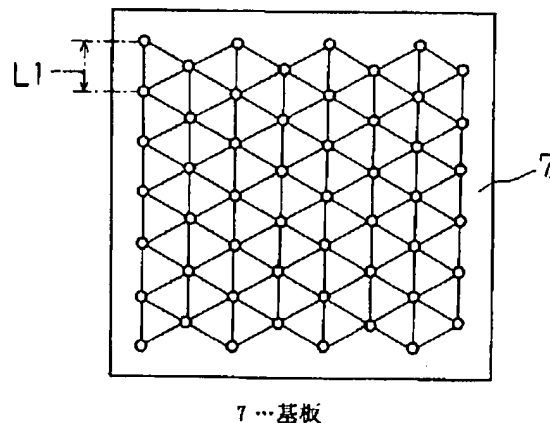
(74)代理人 弁理士 渡辺 三彦

(54)【発明の名称】 結晶性薄膜の製造方法

(57)【要約】

【課題】 基板に予め存在している材料を利用する以外の方法で結晶性薄膜に結晶構造や方位の情報を与えることにより、自由に結晶構造や方位を制御することができるような結晶性薄膜の製造方法を提供すること。

【解決手段】 コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれかを複数の方向から非晶質または結晶性の基板7の表面に照射して基板7の表面に特定の結晶構造の成長面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、上記特定の結晶構造または特定の成長面を有する結晶を上記基板7上に堆積させるようにしたもの。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれかを複数の方向から非晶質基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を非晶質基板上に堆積させることを特徴とする結晶性薄膜の製造方法。

【請求項2】 コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれかを複数の方向から結晶性基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、結晶性基板の構造とは独立に上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を結晶性基板上に堆積させることを特徴とする結晶性薄膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、非晶質基板または結晶性基板上に形成される結晶性薄膜の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 結晶性の下地の上に異なる物性を有する結晶性薄膜を形成すること、また、非晶質の下地の上に結晶性薄膜を形成すること、とりわけ非晶質の絶縁体の上に半導体結晶の薄膜を形成する、いわゆるSOI技術を実現することは、光電子デバイス、光電子融合回路、光電子集積回路、あるいは次世代の微細化電子デバイス、3次元集積回路を実現する上で、不可欠の課題である。

【0003】 発光材料、電子材料のなかには、化学組成が同一でありながら結晶構造が異なるものがある。このような多形を有する材料は、結晶構造毎にそれぞれ固有の物性を示すことが知られている。たとえば青色発光材料である窒化ガリウムは六方晶系のウルツ鉱形構造もしくは立方晶系のせん亜鉛鉱形構造を有しており、それぞれが異なる光学的電気的物性を有している。このような材料の結晶構造を制御することはきわめて重要である。

【0004】 現在存在している結晶性薄膜の成長法は非常に多い。これらの成長法は、結晶の構造や成長面の面方位がどのように決定されるかという観点から、2つの方法に分類される。その第1の方法は、結晶性の下地を種として用いることである。結晶性の下地表面の上に適当な条件の下で薄膜を堆積すると、堆積する薄膜が下地の結晶構造の対称性を引き継ぐことにより薄膜は結晶性となる。下地のある部分が結晶性で他の部分が非晶質である場合には、選択ラテラル成長を行うことにより、あるいは非晶質薄膜を堆積した後、熔融再結晶化もしくは固相成長を行うことにより、非晶質の下地の上にも結晶

性薄膜を形成することができる。

【0005】 第2の方法は、表面エネルギーの異方性を利用することである。種となる結晶構造がない場合、すなわち下地が非晶質であるか、下地の結晶構造の対称性が堆積する薄膜の結晶構造の対称性と著しく異なる場合には、下地基板とその上に形成する結晶性薄膜との表面エネルギーの異方性により結晶性薄膜の結晶構造と方位が決定される。たとえば、平滑な非晶質のSiO₂基板上に結晶性のシリコンを堆積する場合には、(100)面が基板と接触した状態で析出しやすい。

【0006】 しかし、表面エネルギーの異方性を利用する場合、基板表面に垂直な結晶方位は制御できても、水平方向は制御されない。そこで、基板表面に周期的な凹凸を付与し、凹凸の側面の表面エネルギーの異方性を利用して結晶性薄膜の水平方向の結晶方位も揃える、グラフォエピタキシーが提案されている。とはいえ、薄膜の結晶構造や配向性は、薄膜の堆積条件に微妙に依存する場合が多く、条件によっては種々な構造や方位を有する結晶が同時に形成される。

20 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 以上述べたように、従来の結晶成長技術においては、結晶性薄膜の結晶構造と成長面の方位は、種となる結晶の構造と方位によるか、あるいは下地との表面エネルギーの異方性によって決定される。しかし、いずれの場合においても、下地の材料に依存しているため、結晶性薄膜の製造には様々な制約がある。種結晶を利用する場合、種結晶自体の結晶構造と方位が制御されていなければならないので、通常、種結晶は結晶性基板である。従って、堆積する結晶性薄膜は結晶性基板と接していなければならない。

30 【0008】 また、種結晶の下地の上に結晶構造の対称性が下地と著しく異なる結晶性薄膜を堆積することはできない。表面エネルギーの異方性を利用する場合も、結晶性薄膜と下地の組み合わせや結晶成長条件には制約がある。従って、結晶構造あるいは成長面の面方位の著しく異なる2種類以上の結晶性薄膜を同一の下地の上に形成することは、下地が結晶性の場合でも非晶質の場合でも困難である。

40 【0009】 さらに、非晶質の下地表面の上に形成された結晶性薄膜の内部には結晶粒界や亜粒界が存在するが、これらは結晶性薄膜の電気的特性を劣化させるので、この結晶性薄膜を有するデバイスの特性を劣化させる。この問題を回避するためには、結晶性薄膜の成長条件を制御して結晶粒の大きさをデバイスのサイズより大きくしなければならないし、結晶粒の位置を制御するための特別の工夫が必要である。

50 【0010】 従って、本発明は上述の各問題点を解決するためになされたものであって、下地の材料に依存しないような方法により、自由に結晶構造や成長面の面方位を制御することができるような結晶性薄膜の製造方法を

提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、本発明の請求項1の結晶性薄膜の製造方法は、コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれか（以下、コヒーレントビームと呼ぶことがある）を複数の方向から非晶質基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を非晶質基板上に堆積させることを特徴とするものである。

【0012】すなわち、本発明では、複数の方向からのコヒーレントビームによる干渉像を、結晶構造や成長面の面方位を制御するために利用する。この場合、コヒーレントビームの波長は、原子サイズのレベルまで短くすることが必要である。短波長のコヒーレントビーム、たとえば、波長1ナノメートルの放射光は、約1keVと化学反応を促進するのに充分高いエネルギーを有しているので、原料は上記2次元干渉像が存在する位置、すなわち、所望の結晶構造の格子点に対応する位置で反応するので、2次元干渉像によって決まる結晶構造と成長面を有する結晶性薄膜が堆積する。

【0013】多形を持つ材料については、所望の結晶構造の成長面の対称性を有する2次元干渉像を形成することにより、結晶構造を作り分けることが可能になる。たとえば、上方から見て90°間隔をなす4方向からコヒーレントビームを照射して4回対称性で且つ結晶の成長面における格子定数に等しい格子間隔を有する2次元干渉像を形成し、同時に原料となる原子または分子を照射することにより、結晶構造を4回対称性の構造に制御しながら結晶を成長させることができる。

【0014】また、たとえば、上方から見て120°間隔をなす3方向からコヒーレントビームを照射して6回対称性で且つ結晶の成長面における格子定数に等しい格子間隔を有する2次元干渉像を形成し、同時に原料となる原子または分子を照射することにより、結晶構造を6回対称性の構造に制御しながら結晶を成長させることができる。なお、多形を持たない材料においても、同様にして結晶構造の成長面の面方位を所望の方向に制御しながら結晶を成長させることができる。

【0015】請求項2の結晶性薄膜の製造方法は、コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれかを複数の方向から結晶性基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、結晶性基板の構造とは独立に上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を結晶性

基板上に堆積させることを特徴とするものである。

【0016】請求項2においても、コヒーレントビームの波長は原子サイズのレベルまで短くすることが好ましく、請求項1と同様に多形を持つ材料においては結晶構造を4回対称性または6回対称性等の構造に制御しながら結晶を成長させることができる。また、多形を持たない材料においても、結晶構造の成長面の面方位を制御しながら結晶を成長させることができる。

【0017】

10 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1に本実施の形態で使用する結晶性薄膜の製造装置を示す。本装置は、コヒーレントビーム供給装置1、ガス供給装置2、基板交換室3および反応室4から構成されている。コヒーレントビーム供給装置1は、例えば、シンクロトロン放射光装置等の放射光光源5から放出されるコヒーレントな放射光をフィルター6により単色化した後、反応室4に供給するようになっている。

20 【0018】ガス供給装置2は、原料ガスを反応室4に供給するものである。基板交換室3は反応室4の真空を破らずに基板7を反応室4に導入するために設けられており、反応室4と基板交換室3とはゲートバルブ8により隔てられている。基板交換室3と反応室4とは、それぞれ独立の真空排気装置9、10を備えている。

30 【0019】反応室4は、常時真空排気装置10により真空が保たれている。反応室4内において基板7は基板ホルダー11上に装着される。基板ホルダー11の下部には基板ヒーター12が取り付けられていて、必要に応じて基板7を加熱する。なお、基板ヒーター12を設ける代わりに、基板ホルダー11から離れた位置から赤外線等を照射して加熱するようにしてもよい。

40 【0020】放射光光源5からフィルター6を介して反応室4内に導入された放射光は、ハーフミラー13、14、15を用いて、複数方向、たとえば4方向に分割され、さらにミラー16、17、18、19を介して、たとえば4方向から基板7上に照射される。なお、ハーフミラー13および15間、ハーフミラー14とミラー17間、およびハーフミラー15とミラー19間には、それぞれミラー20、21、22が配置されている。放射光を基板7に照射する方向が常に一定であれば、ハーフミラー13乃至15やミラー16乃至22は反応室4の外部に位置していても差し支えない。

50 【0021】上記基板7上において、たとえば、正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成するために、4つのミラー16乃至19を介して4方向A乃至Dから放射光を照射する場合、これらの4方向は、図2に示すように、上方から見て、90°の角度間隔となるように設定されている。4方向の放射光の垂直面内での傾斜角度（図3中 θ ）は、基板7上に製造すべき結晶構造の成長面内における格子間隔に対応させて、互いに等しくさ

れる。なお、上記傾斜角度 θ が変化すると、上記4方向A乃至Dからの放射光の波Wが基板7に写る間隔が変化し、それに伴って、上記2次元干渉像の格子間隔も変化するので、所望の2次元干渉像の格子間隔に合わせて、上記垂直面内での傾斜角度 θ を所定の値に設定する必要がある。上記のように、たとえば、上方から見て90°の間隔に設定され、且つ垂直面内での傾斜角度 θ が互いに等しくされた4方向A乃至Dからの波が互いに干渉することにより、正方格子を有する2次元的に周期配列した干渉像が形成される。

【0022】図4は、六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成するために、基板7上への放射光の照射を3方向E乃至Gからとし、お互いに対して、それぞれ120°の角度をなす方向から照射する場合を示したものである。3方向の放射光の垂直面内での傾斜角度は、製造すべき結晶構造の成長面内における格子間隔に対応させて、互いに等しくされる。この場合、3方向からの放射光が互いに干渉して、六方格子を有する2次元的に周期配列した干渉像が形成される。

【0023】なお、本発明において、基板7上に形成される2次元干渉像は、上記の正方格子を有するものや六方格子を有するものに限定されない。放射光を照射する方向の数、上方から見た角度、垂直面内での傾斜角度を変えることにより、任意の周期配列を有する2次元干渉像を形成することが可能である。

【0024】図1において、ガス供給装置2から反応室4内に導入された原料ガスは、ガスノズル23により基板7上に照射されるようになっている。

【0025】

【実施例】次に、本発明の実施例を説明する。たとえば、GaNは六方晶と立方晶の結晶構造を有し、それぞれ固有の物性を示すことが知られている。GaNの六方晶と立方晶はそれぞれ3.189オングストロームと4.51オングストロームの格子定数を有する。従って、六方晶のGaNを成長させる場合は、図4に示したように、基板7上に上方から見て120°間隔で3方向から放射光を照射することにより、図5に示すように、基板7の表面に3.189オングストロームの格子間隔L1を有する六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時に基板7の温度を900℃に保持しながら原料としてトリメチルガリウムとアンモニアとを供給すれば、図6に示すように、基板7上に六方晶のGaN 24が成長する。

【0026】一方、立方晶のGaNを成長させる場合は、図2に示したように、基板7上に上方から見て90°間隔で4方向から放射光を照射することにより、図7に示すように、基板7上に4.51オングストロームの格子間隔L2を有する正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時に基板温度900℃で上記と同じトリメチルガリウムとアンモニアとを供給すれば、図

8に示すように、基板7上に立方晶のGaN 25が成長する。

【0027】また、他の実施例として、SiCも六方晶と立方晶の結晶構造を有することが知られており、SiCの六方晶と立方晶はそれぞれ3.086オングストロームと4.358オングストロームの格子定数を有する。従って、六方晶のSiCを成長させる場合は、図4に示すように、基板7上に上方から見て120°間隔で3方向から放射光を照射することにより、図5に示すように、基板7の表面に3.086オングストロームの格子間隔L1を有する六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時に基板7の温度を900℃に保持しながら原料としてジシランとアセチレンとを供給すれば、基板7上に六方晶のSiCが成長する。

【0028】一方、立方晶のSiCを成長させる場合は、図2に示したように、基板7上に上方から見て90°間隔で4方向から放射光を照射することにより、図7に示すように、基板7上に4.358オングストロームの格子間隔L2を有する正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時に基板温度900℃で上記と同じジシランとアセチレンとを供給すれば、基板7上に立方晶のSiCが成長する。

【0029】さらに、別の実施例としてシリコンの結晶の成長面の方位を制御する場合を説明する。すなわち、単一のダイヤモンド構造を有するシリコンにおいても、たとえば(100)シリコンを成長させる場合、図2に示したように、基板7上に上方から見て90°間隔で4方向から放射光を照射することにより、図9に示すように、基板7上にシリコンの格子定数に等しい5.431オングストロームの格子間隔L3を有する正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時にジシランまたはジクロルシラン等の原料を照射すれば、(100)面が成長面となり、図10に示すように、基板7上に(100)シリコン26が堆積する。

【0030】一方、(111)シリコンを成長させる場合、図4に示したように、基板7上に上方から見て120°間隔で3方向から放射光を照射して、図11に示すように、基板7上に3.840オングストローム(シリコンの格子定数の $1/\sqrt{2}$)の格子間隔L4を有する六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成し、同時にジシランまたはジクロルシラン等の原料を照射すれば、(111)面が成長面となり、図12に示すように基板7上に(111)シリコン27が堆積する。

【0031】なお、上記各実施例において、基板7は非晶質基板または結晶性基板のいずれであってもよく、非晶質基板の具体例としては、石英ガラス等が挙げられ、結晶性基板の具体例としては、シリコン、ガリウム砒素等が挙げられる。そして、上述したように、非晶質基板を用いた場合は、SOI構造のように、非晶質の下地の上に結晶性薄膜を形成する際に結晶構造と成長面の面方

位を自由に制御することができ、一方、結晶性基板を用いた場合は、該基板上に基板の結晶構造の対称性と著しく異なる対称性を有する結晶性薄膜を形成できる利点がある。

【0032】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の請求項1の結晶性薄膜の製造方法によれば、コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれか（コヒーレントビーム）を複数の方向から非晶質基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を非晶質基板上に堆積させるようにしたので、多形を持つ材料においては、上方から見て、たとえば、90°または120°等の所定の間隔をなす複数方向からコヒーレントビームを照射して4回対称性または6回対称性等で且つ結晶の成長面における格子定数に等しい格子間隔を有する2次元干渉像を形成し、同時に原料の原子線または分子線を照射することにより、結晶構造を4回対称性または6回対称性等の所望の対称性の構造に制御しながら結晶を成長させることができる。また、多形を持たない材料においても、同様にして、結晶構造の成長面を所望の面方位に制御しながら結晶を成長させることができる。これにより、SOI構造のように、非晶質の下地の上に結晶性薄膜を形成する際に結晶構造と成長面の面方位を自由に制御することが可能になる。

【0033】請求項2の結晶性薄膜の製造方法は、コヒーレントな放射光、レーザー光またはコヒーレントな電子ビームのいずれかを複数の方向から結晶性基板表面に照射して基板表面に特定の結晶構造の特定の面方位の結晶面の対称性を有する2次元干渉像を形成し、同時に結晶の原料となる分子または原子を照射することにより、結晶性基板の構造とは独立に上記特定の結晶構造および上記特定の面方位の成長面を有する結晶性薄膜を結晶性基板上に堆積させるようにしたので、請求項1と同様に多形を持つ材料においては結晶構造を4回対称性または6回対称性等の所望の対称性の構造に制御しながら結晶を成長させることができ、多形を持たない材料においても、結晶構造の成長面を所望の面方位に制御しながら結晶を成長させることができる。これにより、特定の結晶性基板の上に基板の結晶構造の対称性と著しく異なる対称性を有する結晶性薄膜を形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態で使用する結晶性薄膜の製造装置を示す説明図。

【図2】上記実施の形態で基板に対して上方から見て4方向から光を照射する場合の光の照射方向を示す概略平面図。

【図3】上記4方向の光の垂直面内での傾斜角度を示す概略垂直断面図。

【図4】上記基板に対して3方向から光を照射する場合の光の照射方向を示す概略平面図。

【図5】上記基板上に六方晶のGa₂N₃の成長面に対応した六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成した状態を示す説明図。

【図6】図6の基板上に六方晶のGa₂N₃を堆積させた状態を示す説明図。

【図7】上記基板上に立方晶のGa₂N₃の成長面に対応した正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成した状態を示す説明図。

【図8】図7の基板上に立方晶のGa₂N₃を堆積させた状態を示す説明図。

【図9】上記基板上にシリコンの格子定数に等しい格子間隔の正方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成した状態を示す説明図。

【図10】図9の基板上に（100）シリコンを堆積させた状態を示す説明図。

【図11】上記基板上にシリコンの格子定数の $1/\sqrt{2}$ に等しい格子間隔の六方格子の周期構造を有する2次元干渉像を形成した状態を示す説明図。

【図12】図11の基板上に（111）シリコンを堆積させた状態を示す説明図。

【符号の説明】

1 コヒーレントビーム供給装置

2 ガス供給装置

3 基板交換室

4 反応室

5 放射光光源

6 フィルター

7 基板

8 ゲートバルブ

9、10 真空排気装置

11 基板ホルダー

12 基板ヒーター

13乃至15 ハーフミラー

16乃至22 ミラー

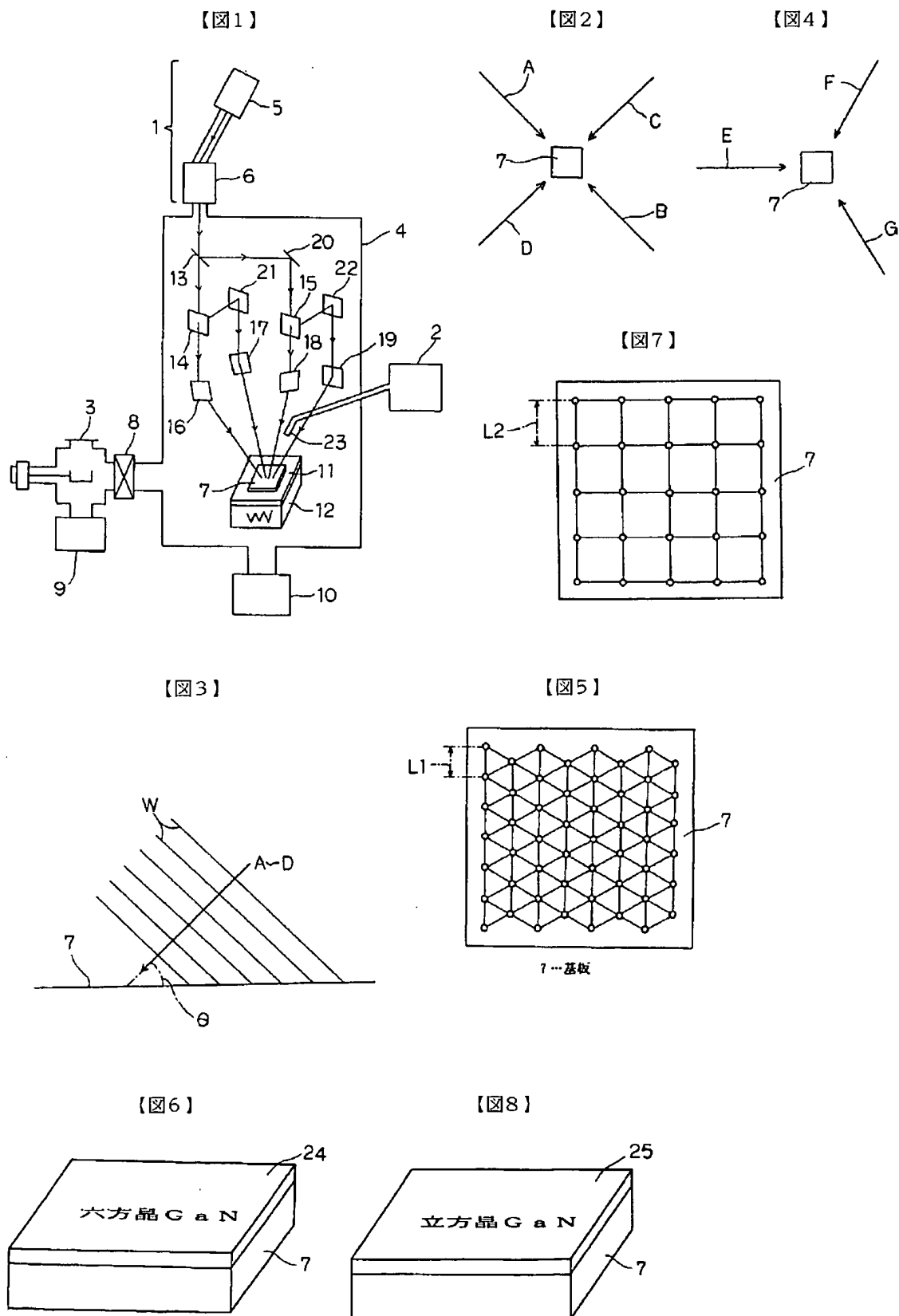
23 ガスノズル

24 Ga₂N₃（六方晶）

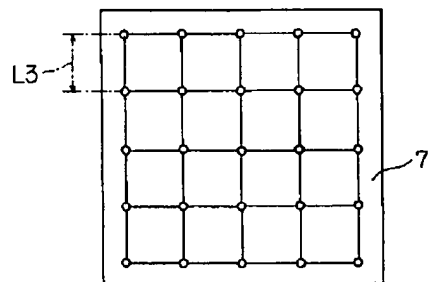
25 Ga₂N₃（立方晶）

26 （100）シリコン

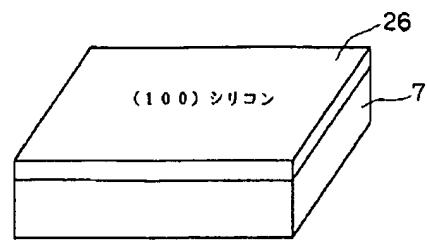
27 （111）シリコン



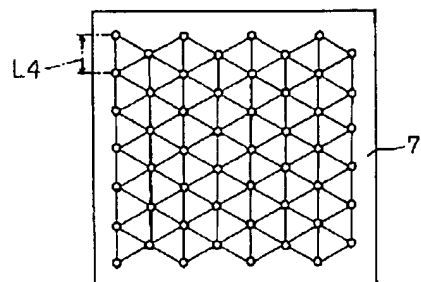
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

